

Docket No.: 65326-028

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of : Customer Number: 20277
Masahiro HORIE, et al. : Confirmation Number:
Serial No.: Group Art Unit:
Filed: September 2, 2003 : Examiner:
For: APPARATUS FOR MEASURING FILM THICKNESS FORMED ON OBJECT, APPARATUS AND
METHOD OF MEASURING SPECTRAL REFLECTANCE OF OBJECT, AND APPARATUS AND
METHOD OF INSPECTING FOREIGN MATERIAL ON OBJECT

CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claims the priority of:

Japanese Patent Application No. JP2002-303775, filed on October 18, 2002.

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Stephen A. Becker
Registration No. 26,527

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 SAB:gav
Facsimile: (202) 756-8087
Date: September 2, 2003

67526-028
Masahiro HORIE, et al.
日本国特許庁 September 2, 2003
JAPAN PATENT OFFICE
McDonnell, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年10月18日

出願番号

Application Number: 特願2002-303775

[ST.10/C]:

[JP2002-303775]

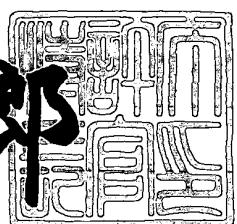
出願人

Applicant(s): 大日本スクリーン製造株式会社

2003年 6月 2日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3041996

【書類名】 特許願

【整理番号】 006P0060

【提出日】 平成14年10月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 11/06

【発明者】

【住所又は居所】 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1
番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内

【氏名】 堀江 正浩

【発明者】

【住所又は居所】 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1
番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内

【氏名】 林 秀樹

【発明者】

【住所又は居所】 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1
番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内

【氏名】 北村 藤和

【発明者】

【住所又は居所】 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1
番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内

【氏名】 赤鹿 久美子

【特許出願人】

【識別番号】 000207551

【氏名又は名称】 大日本スクリーン製造株式会社

【代理人】

【識別番号】 100110847

【弁理士】

【氏名又は名称】 松阪 正弘

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 136468

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0107099

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 膜厚測定装置、反射率測定装置、異物検査装置、反射率測定方法および異物検査方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 対象物上に形成された膜の厚さを測定する膜厚測定装置であって、

偏光した光を対象物に向けて出射する第1光源と、

対象物からの前記偏光した光の反射光を受光して前記反射光の偏光状態を取得する受光部と、

前記受光部にて取得された偏光状態に基づいて対象物上の膜の厚さを求める演算部と、

照明光を出射する第2光源と、

照明光を対象物へと導くとともに対象物からの反射光を所定の位置へと導く光学系と、

前記第2光源から対象物に至る光路上において、開口絞り位置と光学的にほぼ共役な位置に配置された遮光パターンと、

前記所定の位置に結像された前記遮光パターンの像を取得する撮像部と、を備え、

前記演算部が、前記撮像部からの出力に基づいて対象物の傾斜角を求め、前記傾斜角を用いつつ前記受光部にて取得された偏光状態から膜の厚さを求めることを特徴とする膜厚測定装置。

【請求項2】 請求項1に記載の膜厚測定装置であって、

前記第2光源から対象物に至る光路上において、視野絞り位置と光学的にほぼ共役な位置に配置されたフィルタをさらに備え、

前記フィルタが、対象物上の微小領域に対応する部位以外において少なくとも特定の波長の光を遮ることを特徴とする膜厚測定装置。

【請求項3】 測定対象物の分光反射率を測定する反射率測定装置であって

参照対象物上の膜の厚さを偏光解析方式により測定する膜厚測定部と、

参照対象物および測定対象物に照明光を照射して各対象物からの反射光の分光強度を取得し、前記測定対象物の分光反射率を求める反射率測定部と、
を備え。

前記反射率測定部が、前記膜厚測定部により測定された参照対象物上の膜の厚さに基づいて前記参照対象物の分光反射率を算出し、算出された分光反射率を参考して前記測定対象物の分光反射率を求める演算部を有することを特徴とする反射率測定装置。

【請求項4】 対象物上に形成された膜の厚さを測定する膜厚測定装置であって、

偏光した光を対象物に向けて出射する光源と、
対象物からの前記偏光した光の反射光を受光して前記反射光の偏光状態を取得する受光部と、

前記受光部にて取得された偏光状態に基づいて対象物上の膜の厚さを求める演算部と、

非測定時に前記光源からの光を所定の位置へと導く切替手段と、
前記所定の位置へと導かれた光の波長を取得する波長測定部と、
を備え。

前記演算部が、前記波長測定部にて取得された波長を用いて対象物上の膜の厚さを求ることを特徴とする膜厚測定装置。

【請求項5】 請求項4に記載の膜厚測定装置であって、
前記切替手段が、
対象物が載置されるステージと、
前記ステージ上に配置されたミラーと、
前記ステージを移動することにより、前記光源からの光の照射位置に対象物または前記ミラーを位置させる機構と、
を有することを特徴とする膜厚測定装置。

【請求項6】 請求項4または5に記載の膜厚測定装置であって、
照明光を対象物に向けて出射するもう1つの光源をさらに備え、
前記波長測定部が分光器であり、前記分光器が対象物からの前記照明光の反射

光を受光して前記反射光の分光強度を取得することを特徴とする膜厚測定装置。

【請求項7】 基板上の異物の有無を検査する異物検査装置であって、所定の入射角にて基板に入射する光を出射する光源と、基板からの反射光におけるp偏光成分の強度を取得する受光部と、前記p偏光成分の強度に基づいて基板上の異物の有無を判定する判定部と、を備えることを特徴とする異物検査装置。

【請求項8】 測定対象物の分光反射率を測定する反射率測定方法であって参考対象物上の膜の厚さを偏光解析方式により測定する工程と、前記参考対象物および測定対象物に照明光を照射して各対象物からの反射光の分光強度を取得する工程と、測定された前記参考対象物上の膜の厚さに基づいて前記参考対象物の分光反射率を算出し、前記分光反射率を参照して前記測定対象物の分光反射率を求める工程と、を有することを特徴とする反射率測定方法。

【請求項9】 基板上の異物の有無を検査する異物検査方法であって、所定の入射角にて基板に光を入射させる工程と、前記基板からの反射光におけるp偏光成分の強度を取得する工程と、前記p偏光成分の強度に基づいて前記基板上の異物の有無を判定する工程と、を有することを特徴とする異物検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、対象物上の膜の厚さを測定する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、対象物の表面に形成された薄膜の厚さを測定する手法として、偏光解析方式、または、分光反射率方式もしくは白色光干渉方式と呼ばれる偏光解析を伴わない方式（以下、「白色光干渉方式等」という。）が採用されている。一

一般的に、偏光解析方式は薄い膜に対して高精度に膜厚測定を行うことが可能であり、白色光干渉方式等では偏光解析方式に比べて厚い膜または多層膜に対して測定を行うことができる。

【0003】

特許文献1では、エリプソメータと干渉計とを同一装置に設け、エリプソメータにより測定される屈折率と干渉計により求められる干渉波形とから対象物上の膜厚を特定する手法が開示されている。

【0004】

また、特許文献2では、白色光干渉方式等により対象物上の膜厚の範囲を特定し、特定された膜厚範囲に基づいて偏光解析方式により膜厚を測定する手法が提案されている。

【0005】

【特許文献1】

特開昭61-182507号公報

【特許文献2】

特開平11-271027号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、偏光解析方式では対象物に向けて出射する光の波長や入射角が膜厚を求める演算に利用されるため、高精度に膜厚を測定するには入射光の波長を正確に特定し、対象物上の測定面を水平に保つ等する必要がある。また、測定領域が微小であることから、対象物表面に微小な異物（例えば、サブミクロン単位のパーティクル等）が付着している場合には精度よく膜厚を測定することができない。

【0007】

一方、白色光干渉方式等では、反射率が既知である参照対象物を用いて測定値を補正する必要があるが、参照対象物の表面が自然酸化して反射率が変化した場合には、測定値を適切に補正することができなくなる。

【0008】

本発明は上記課題に鑑みなされたものであり、対象物に形成された膜の厚さを精度よく測定することを主たる目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明は、対象物上に形成された膜の厚さを測定する膜厚測定装置であって、偏光した光を対象物に向けて出射する第1光源と、対象物からの前記偏光した光の反射光を受光して前記反射光の偏光状態を取得する受光部と、前記受光部にて取得された偏光状態に基づいて対象物上の膜の厚さを求める演算部と、照明光を出射する第2光源と、照明光を対象物へと導くとともに対象物からの反射光を所定の位置へと導く光学系と、前記第2光源から対象物に至る光路上において、開口絞り位置と光学的にほぼ共役な位置に配置された遮光パターンと、前記所定の位置に結像された前記遮光パターンの像を取得する撮像部とを備え、前記演算部が、前記撮像部からの出力に基づいて対象物の傾斜角を求め、前記傾斜角を用いつつ前記受光部にて取得された偏光状態から膜の厚さを求める。

【0010】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の膜厚測定装置であって、前記第2光源から対象物に至る光路上において、視野絞り位置と光学的にほぼ共役な位置に配置されたフィルタをさらに備え、前記フィルタが、対象物上の微小領域に対応する部位以外において少なくとも特定の波長の光を遮る。

【0011】

請求項3に記載の発明は、測定対象物の分光反射率を測定する反射率測定装置であって、参照対象物上の膜の厚さを偏光解析方式により測定する膜厚測定部と、参照対象物および測定対象物に照明光を照射して各対象物からの反射光の分光強度を取得し、前記測定対象物の分光反射率を求める反射率測定部とを備え、前記反射率測定部が、前記膜厚測定部により測定された参照対象物上の膜の厚さに基づいて前記参照対象物の分光反射率を算出し、算出された分光反射率を参照して前記測定対象物の分光反射率を求める演算部を有する。

【0012】

請求項4に記載の発明は、対象物上に形成された膜の厚さを測定する膜厚測定

装置であって、偏光した光を対象物に向けて出射する光源と、対象物からの前記偏光した光の反射光を受光して前記反射光の偏光状態を取得する受光部と、前記受光部にて取得された偏光状態に基づいて対象物上の膜の厚さを求める演算部と、非測定時に前記光源からの光を所定の位置へと導く切替手段と、前記所定の位置へと導かれた光の波長を取得する波長測定部とを備え、前記演算部が、前記波長測定部にて取得された波長を用いて対象物上の膜の厚さを求める。

【0013】

請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の膜厚測定装置であって、前記切替手段が、対象物が載置されるステージと、前記ステージ上に配置されたミラーと、前記ステージを移動することにより、前記光源からの光の照射位置に対象物または前記ミラーを位置させる機構とを有する。

【0014】

請求項6に記載の発明は、請求項4または5に記載の膜厚測定装置であって、照明光を対象物に向けて出射するもう1つの光源をさらに備え、前記波長測定部が分光器であり、前記分光器が対象物からの前記照明光の反射光を受光して前記反射光の分光強度を取得する。

【0015】

請求項7に記載の発明は、基板上の異物の有無を検査する異物検査装置であって、所定の入射角にて基板に入射する光を出射する光源と、基板からの反射光におけるp偏光成分の強度を取得する受光部と、前記p偏光成分の強度に基づいて基板上の異物の有無を判定する判定部とを備える。

【0016】

請求項8に記載の発明は、測定対象物の分光反射率を測定する反射率測定方法であって、参照対象物上の膜の厚さを偏光解析方式により測定する工程と、前記参照対象物および測定対象物に照明光を照射して各対象物からの反射光の分光強度を取得する工程と、測定された前記参照対象物上の膜の厚さに基づいて前記参照対象物の分光反射率を算出し、前記分光反射率を参照して前記測定対象物の分光反射率を求める工程とを有する。

【0017】

請求項9に記載の発明は、基板上の異物の有無を検査する異物検査方法であって、所定の入射角にて基板に光を入射させる工程と、前記基板からの反射光におけるP偏光成分の強度を取得する工程と、前記P偏光成分の強度に基づいて前記基板上の異物の有無を判定する工程とを有する。

【0018】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の一の実施の形態に係る膜厚測定装置1の概略構成を示す図である。膜厚測定装置1は、多層膜（単層膜であってもよい。）が形成された半導体基板（以下、「基板」という。）9が載置されるステージ2、基板9上の膜に対して偏光解析を行うための情報を取得するエリプソメータ3、基板9からの光（反射光）の分光強度を取得する光干渉ユニット4、各種演算処理を行うCPUや各種情報を記憶するメモリ等により構成された制御部5、および、エリプソメータ3および光干渉ユニット4による光の照射位置に対してステージ2を移動するステージ移動機構21を備える。

【0019】

エリプソメータ3は、偏光した光（以下、「偏光光」という。）を基板9に向けて出射する光源ユニット311、および、基板9からの反射光を受光して反射光の偏光状態を取得する受光ユニット312を有し、取得された偏光状態を示すデータは制御部5へと出力される。

【0020】

光源ユニット311は、光ビームを出射する半導体レーザ（LD）312および半導体レーザ312の出力を制御するLD駆動制御部311を有し、半導体レーザ312からの光ビームは偏光フィルタ313に入射する。偏光フィルタ313では光ビームから直線偏光した光が取り出され、波長板（以下、「 $\lambda/4$ 板」という。）314により円偏光の光が取り出される。 $\lambda/4$ 板314からの光はレンズ331を介して所定の入射角（例えば、72～80度）にてステージ2上の基板9表面へと導かれる。このように、LD駆動制御部311、半導体レーザ312、偏光フィルタ313および $\lambda/4$ 板314により光源ユニット311が構成され、円偏光の光が基板9に向けて出射される。なお、光源ユニット311には（

具体的には、半導体レーザ312と偏光フィルタ313との間の光路上には）、光ビームを遮断する電磁シャッタ315が設けられ、電磁シャッタ315により基板9への光の照射がON/OFF制御される。

【0021】

基板9からの反射光は、レンズ332を介して回転検光子321へと導かれ、回転検光子321が光軸に平行な軸を中心として回転しつつ透過した光がフォトダイオード322へと導かれ、受光された光の強度を示す信号がA/Dコンバータ34を介して制御部5へと出力される。以上のように、回転検光子321およびフォトダイオード322により受光ユニット32が構成され、フォトダイオード322の出力が回転検光子321の回転角に対応付けられることにより反射光の偏光状態が取得される。

【0022】

光干渉ユニット4は、白色光を照明光として出射する光源41、基板9からの反射光を分光する分光器42、後述する遮光パターンの像を取得する遮光パターン撮像部43、基板9上の照明光の照射位置を撮像する基板撮像部44、および、光学系45を有し、光学系45により光源41からの照明光が基板9へと導かれるとともに基板9からの反射光が分光器42、遮光パターン撮像部43および基板撮像部44へと導かれる。

【0023】

具体的には、光ファイバ451の一端に光源41からの照明光が導入され、他端に設けられたレンズ452から照明光が導出される。導出された照明光はレンズ450aを介して開口絞り部453へと導かれる。開口絞り部453には所定の遮光パターン453a（例えば、十字に形成された標線）が設けられており、照明光は遮光パターン453aに対応する部分が遮られつつレンズ450bを介して視野絞り部454へと導かれる。

【0024】

視野絞り部454にて視野が制限された照明光はレンズ450cを介してハーフミラー455へと導かれ、ハーフミラー455を透過してハーフミラー456へと導かれる。ハーフミラー456にて反射された照明光は、対物レンズ457

を介して基板9の表面に照射される。このとき、基板9上における照明光の照射領域の広さは、視野絞り部454による視野の制限に対応するが、開口絞り部453の遮光パターンの像は基板9上には結像されない。

【0025】

基板9からの反射光は、対物レンズ457を介してハーフミラー456へと導かれ、一部の光がハーフミラー455に向けて反射される。反射された光は、ハーフミラー455にてさらに反射され、レンズ450dを介して遮光パターン撮像部43にて受光される。遮光パターン453aから基板9の表面を経由して遮光パターン撮像部43に至る光学系において、遮光パターン撮像部43の位置は遮光パターン453aと光学的に共役とされ、遮光パターン撮像部43に遮光パターン453aの像が結像され、遮光パターン453aの画像データは制御部5へと出力される。

【0026】

ハーフミラー456を透過した反射光はハーフミラー458を透過してハーフミラー459へと導かれ、一部の光が反射される。反射された光はレンズ450eを介して基板撮像部44へと導かれ、受光される。基板撮像部44の位置は視野絞り部454および基板9の表面の位置と光学的に共役とされるため、基板撮像部44により基板9上の照明光の照射位置の像が撮像され、取得された画像データは制御部5へと出力される。

【0027】

ハーフミラー459を透過した光はレンズ450fを介して分光器42へと導かれ、反射光の分光強度が取得される。分光強度のデータは制御部5へと出力される。以上のように、レンズ450a～450f、452、光ファイバ451、開口絞り部453、視野絞り部454、ハーフミラー455、456、458、459および対物レンズ457により光学系45が構成される。

【0028】

光干渉ユニット4は、さらに、対物レンズ457と基板9の表面との間の距離を検出するオートフォーカス検出ユニット（以下、「AF検出ユニット」という。）46を有する。AF検出ユニット46は、光ビームを出射する半導体レーザ

461、受光する光の位置をP S D素子により検出するA F検出部463を有し、半導体レーザ461から出射された光ビームは光学系45を介して基板9の表面へと照射される。基板9からの光ビームの反射光は光学系45を介してA F検出ユニット46のシリンドリカルレンズ462へと導かれ、さらに、A F検出部463へと導かれる。

【0029】

A F検出部463では受光する光の位置により対物レンズ457と基板9の表面との間の距離が検出され、ステージ2に設けられた昇降機構（図示省略）により対物レンズ457と基板9の表面との間の距離が一定に調整される。このとき、対物レンズ457と基板9の表面との間の距離は、対物レンズ457に入射する平行光が基板9の表面にて像を結ぶ距離（すなわち、焦点距離）とされる。

【0030】

ステージ移動機構21は、ステージ2を図1中のX方向に移動するX方向移動機構22、および、Y方向に移動するY方向移動機構23を有する。X方向移動機構22はモータ221にボールねじ（図示省略）が接続され、モータ221が回転することにより、Y方向移動機構23がガイドレール222に沿って図1中のX方向に移動する。Y方向移動機構23もX方向移動機構22と同様の構成となっており、モータ231が回転するとボールねじ（図示省略）によりステージ2がガイドレール232に沿ってY方向に移動する。

【0031】

また、ステージ2上には後述する光源ユニット31からの光の波長の確認に利用されるミラー24が配置されており、ミラー24は光源ユニット31から照射される所定の入射角の光を鉛直方向の上方へと（すなわち、対物レンズ457に向かって）反射するように傾斜して設けられる。

【0032】

制御部5は、各種演算を行う演算部51を有し、遮光パターン撮像部43、分光器42、基板撮像部44および受光ユニット32にて取得された各種情報は演算部51へと入力される。また、光源41、光源ユニット31およびステージ移動機構21も制御部5に接続され、制御部5がこれらの構成を制御することによ

り、膜厚測定装置1による基板9上の膜厚測定が行われる。

【0033】

膜厚測定装置1では、基板9上の膜が比較的薄い場合には、演算部51がエリプソメータ3からの偏光状態を示す出力に基づいて偏光解析方式による膜厚測定が行われ、膜が比較的厚い、あるいは、多層膜の場合には、演算部51において光干渉ユニット4からの分光強度を示す出力に基づいて分光反射率を求めつつ膜厚が算出される。

【0034】

膜厚測定装置1において、エリプソメータ3からの偏光状態を示す出力に基づいて膜厚が測定される際には、まず、光源ユニット31から出射される光の波長の確認（以下、「レーザ波長キャリブレーション」という。）が行われ、続いて、基板9上の測定対象位置において異物の有無を検査する異物検査が行われる。そして、異物が存在しないことが確認された（すなわち、基板9上の測定対象位置にて正確に膜厚を測定することが可能であることが確認された）場合には、基板9の傾斜角の測定が行われた後に、膜厚測定が行われる。以下、膜厚測定装置1がエリプソメータ3により基板9上の膜の厚さを測定する際の動作について順次説明を行う。

【0035】

図2はレーザ波長キャリブレーションの流れを示す図である。レーザ波長キャリブレーションでは、まず、ステージ移動機構21によりステージ2上のミラー24が偏光光の照射位置へと移動し（ステップS11）、制御部5の制御により光源ユニット31から偏光光の出射が開始される（ステップS12）。これにより、光源ユニット31からの光はミラー24にて反射され、光干渉ユニット4の分光器42へと導かれる。

【0036】

分光器42では、受光した光の分光強度が取得され、その結果、実質的に半導体レーザ312が出射するレーザ光の波長が取得される。波長を示すデータは演算部51へと出力され、演算部51内のメモリに記憶される（ステップS13）。取得されたレーザ光の波長は、エリプソメータ3による膜厚測定の際に利用さ

れる。

【0037】

以上のように、膜厚測定装置1では、ステージ2を移動することにより光源ユニット31からの光の照射位置に基板9またはミラー24を切り替えて位置させることが可能とされており、非測定時に光源ユニット31からの光を分光器42へと導いてレーザ光（すなわち、偏光光）の波長が取得される。これにより、膜厚測定装置1では、周囲の温度変化や光源ユニット31の各構成の特性変化等が生じることにより光源ユニット31からの光の波長が変化した場合であっても、膜厚を精度よく求めることが実現される。

【0038】

なお、ミラー24に代えて光を散乱する散乱体が設けられてもよい。また、ミラー24や散乱体はステージ2以外の場所から偏光光の照射位置へと移動させてよい。

【0039】

次に、膜厚測定装置1における基板9上の異物検査について説明する。異物検査では、事前に、光源41から照明光が出射されるとともに基板撮像部44にて基板9の画像が取得され、画像に基づいてステージ移動機構21がステージ2を移動して偏光解析用の偏光光の照射位置と基板9の測定対象位置とが合わせられている。

【0040】

図3は異物を検査する処理の流れを示す図である。まず、光源ユニット31から偏光光の出射が開始され、基板9の測定対象位置へと偏光光が所定の入射角にて照射される（ステップS21）。このとき、偏光光が照射される基板9上の照射領域は、例えば、直径が $10 \mu m$ の円形領域とされる。偏光光の基板9からの反射光は受光ユニット32へと導かれる。その際、受光ユニット32の回転検光子321の向きはp偏光成分のみを透過する向きに固定され、フォトダイオード322では反射光のp偏光成分のみの強度が取得される（ステップS22）。

【0041】

演算部51では、受光ユニット32から入力される光の強度に基づいて、基板

9上の異物の有無が判定される（ステップS23）。例えば、偏光光の基板9への入射角が72～80度とされると、基板9上の光の照射位置に異物が存在しない場合には、基板9からの反射光にはp偏光成分がほとんど存在しなくなる。一方、異物が存在する場合にはp偏光成分が比較的大きくなる。そこで、p偏光成分が検出された場合に演算部51が、異物が存在すると判定する。

【0042】

以上のように、膜厚測定装置1では、光源ユニット31からの光の基板9による反射光のp偏光成分の強度が取得され、演算部51により、p偏光成分の強度に基づいて基板9上の異物の有無が判定される。その結果、膜厚測定装置1では、容易に異物の有無を検査することができる。

【0043】

なお、基板9上の異物の有無は、後述する膜厚測定時に取得される偏光状態を示す情報の一部である周期強度信号と予め算出された周期信号とを比較することにより判定することも可能であるが、偏光状態を取得するには回転検光子321を1回転させる必要があり、スループットが低下してしまう。これに対して、膜厚測定装置1では、回転検光子321の向きを固定して検査するため、迅速に異物検査を行うことができる。

【0044】

光源ユニット31からの光の入射角が72～80度以外である場合や、光源ユニット31からの光が偏光光でない場合であっても、受光ユニット32にて取得されるp偏光成分の強度の変化により異物の有無を判定することは可能である。ただし、膜厚測定装置1では、偏光光を72～80度の入射角にて入射させることにより高感度に異物の有無を検査することが可能とされている。

【0045】

基板9上の測定対象位置に異物が存在しないことが確認されると、続いて、基板9が水平面（すなわち、図1中のXY平面）に対して傾斜する傾斜角の測定が行われる。まず、光源41から照明光の出射が開始され、遮光パターン撮像部43による撮像が行われ、遮光パターン453aの画像データが演算部51へと出力される。

【0046】

前述のように、遮光パターン撮像部43の位置は、遮光パターン453aに対して基板9の表面を経由して光学的に共役となる位置（遮光パターン453aがほぼ開口絞り位置に位置することから、遮光パターン撮像部43は、いわゆる、対物瞳位置にほぼ位置する。）であり、遮光パターン撮像部43にて取得される画像中の遮光パターンの位置は、基板9の傾斜角（正確には、照明光の照射位置における傾斜角）に対応した位置となる。

【0047】

演算部51では、傾斜角が0度のときの画像中の遮光パターンの重心位置（以下、「基準位置」という。）が予め記憶されており、取得された画像中の遮光パターンの重心位置と基準位置との間の距離（ベクトル）を算出することにより基板9の傾斜角（正確には、基板9の法線方向を示すベクトル）が求められる。

【0048】

具体的には、対物レンズ457と基板9の表面との間の距離（すなわち、AF検出ユニット46により一定に保たれる距離）をf、基板9の傾斜角をθとし、対物レンズ457の位置にて基板9からの反射光を受光し、遮光パターン453aの像を取得すると仮定すると、取得された画像において、遮光パターンの位置は基板9の傾斜角が0度であるときから傾斜に対応する方向に($f \times \tan(2\theta)$)だけ移動する。よって、遮光パターン撮像部43により取得される画像においては、($f \times \tan(2\theta)$)に対物レンズ457の位置に対する倍率を乗じた距離だけ傾斜に対応する方向に移動することとなり、この距離が前述の基準位置と検出される重心位置との間の距離となる。距離fはAF検出ユニット46により一定とされることから、演算部51にて基板9の傾斜角θが正確に求められる。

【0049】

傾斜角の測定が終了すると、光源ユニット31から偏光光が基板9へと出射されつつ受光ユニット32にて反射光の偏光状態が取得される。そして、演算部51において、レーザ波長キャリブレーションにより取得された光源ユニット31からの偏光光の波長、並びに、傾斜角（および、傾斜方向）から求められる正確

な入射角を用いつつ取得された偏光状態に基づいて基板9上の膜の厚さが求められる。なお、傾斜角の測定中に基板9からの反射光の偏光状態が取得されてもよい。

【0050】

図4は、同一の基板9において傾斜角を変更しつつ取得された偏光状態に基づいて算出された膜厚を示す図である。図4において、線61は測定された傾斜角を用いて膜厚を算出した結果を示し、線62は傾斜角の測定を行わずに膜厚を算出した（すなわち、傾斜角を0秒として算出した）場合の結果を示している。図4に示すように、傾斜角測定を行わなかった場合には、算出された膜厚が基板9の傾斜角の影響によりばらついてしまうが、傾斜角測定を行うことにより、一定の膜厚が精度よく算出されることが判る。

【0051】

以上のように、膜厚測定装置1では、開口絞り部453に設けられた遮光パターン453aの像を遮光パターン撮像部43において取得して基板9の傾斜角が求められる。そして、求められた傾斜角を利用することにより基板9上の膜の厚さが精度よく求められる。これにより、膜厚測定装置1では基板9が傾いている場合であっても、基板9の傾きを調整することなく適切に膜厚を補正しつつ求めることができる。

【0052】

エリプソメータ3により膜厚測定が行われる際には、必ずしもレーザ波長キャリブレーション、異物検査および傾斜角測定の全てが行われる必要はない。また、レーザ波長キャリブレーションは必ずしも膜厚測定ごとに行われる必要はなく、定期的に（例えば、所定の測定回数ごと）に行われてもよい。

【0053】

次に、基板9の傾斜角測定の他の例について説明を行う。他の例に係る傾斜角の測定では、視野絞り部454に所定の領域以外において特定の波長を遮るフィルタ454aが配置される。例えば、光源41がタンクス滕ハロゲンランプを利用している場合には、視野絞り部454には、中心部以外において波長800nm以上の赤外光を遮蔽する遮光フィルタ454aが配置される。また、遮光パ

ターン撮像部43には、赤外光のみを透過する透過フィルタが取り付けられる。これにより、基板9上の照明光の照射位置において、波長800nm以上の赤外光が遮光フィルタの中心部に対応する微小領域のみに照射される。微小領域の位置は、光源ユニット31からの偏光光の照射位置と重なる。

【0054】

照明光の反射光は遮光パターン撮像部43へと導かれ、微小領域に対応する反射光のみが遮光パターン撮像部43にて受光され、かつ、微小領域からの光により遮光パターン453aが結像される。ここで、取得される画像において遮光パターン453aの像の重心位置は、既述のように基板9上の微小領域の傾斜角に応じて基準位置から移動する。よって、基準位置と検出された重心位置との間のベクトルに基づいて微小領域のみにおける傾斜角が求めることが実現される。

【0055】

なお、基板9上の照射領域全体には波長800nm以下の光が照射されるため、基板撮像部44にて撮像される像により基板9上の照明光の照射位置が確認可能であり、偏光光の照射位置を基板9上の所望の位置へと移動することができる。また、後述する光干渉ユニット4による膜厚測定の際にも、波長800nm以下の光を用いた膜厚測定が可能とされる。もちろん、光干渉ユニット4による膜厚測定を考慮して遮光フィルタ454aが光路から待避可能とされてもよい。

【0056】

微小領域に関する傾斜角が測定されると、光源ユニット31から偏光光が基板9上の微小領域へと出射されつつ受光ユニット32にて偏光光の反射光が受光され、反射光の偏光状態が取得される。演算部51では、微小領域に関する傾斜角を用いつつ取得された偏光状態に基づいて基板9上の微小領域に関する膜の厚さが求められる。

【0057】

以上のように、膜厚測定装置1では、視野絞り部454に遮光フィルタ454aを配置することにより、基板9上の微小領域の膜厚をより精度よく求めることができる。なお、遮光フィルタ454aは必ずしも視野絞り部454の位置に配置される必要はなく、光源41から基板9に至る光路上において、視野絞り位置

と光学的にほぼ共役な位置に配置されればよい。また、配置される遮光フィルタ454aは少なくとも特定の波長の光を基板9上の微小領域に対応する部位以外において遮ればよく、全ての波長の光が遮光されてもよい。

【0058】

次に、膜厚測定装置1が光干渉ユニット4からの分光強度を示す出力に基づいて分光反射率を求め、膜厚を測定する（具体的には、比較的厚い膜や多層膜が測定される）際の処理について説明を行う。図5は、膜厚測定装置1が光干渉ユニット4により膜厚測定を行う処理の流れを示す図であり、以下、図5に沿って説明を行う。

【0059】

光干渉方式による膜厚測定では、参照される対象物（以下、「参照基板」という。）が用いられる。参照基板としては、通常、シリコン基板が用いられるが、長時間大気中に放置された参照基板上には、二酸化ケイ素（SiO₂）による自然酸化膜が生じている。そこで、膜厚測定装置1では、まず、エリプソメータ3を利用して偏光解析方式による参照基板上の自然酸化膜の膜厚測定が行われる（ステップS31）。

【0060】

エリプソメータ3による測定では参照対象物が不要であるため、照射される光の波長や入射角（照射位置の傾斜角）等が正確に特定される限り、膜厚の絶対量（以下、「絶対膜厚」という。）を取得することができる。取得された参照基板の絶対膜厚は演算部51に記憶される。

【0061】

参照基板の絶対膜厚が測定されると、光干渉ユニット4において、光源41から照明光が出射されて光学系45により照明光が参照基板へと導かれ、参照基板からの反射光が分光器42へと導かれる。そして、分光器42にて反射光の分光強度が取得され（ステップS32）、参照基板の分光強度データが演算部51へと出力される。続いて、測定対象物である基板9（以下、参照基板と区別するために「対象基板9」という。）がステージ2上に載置され、光源41からの照明光が対象基板9上の測定対象位置へと照射され、分光器42により反射光の分光

強度が取得される（ステップS33）。対象基板9の分光強度データは演算部51へと出力される。

【0062】

演算部51では、ステップS31にて取得された参照基板の絶対膜厚から参照基板の（垂直）分光反射率が理論的演算により算出される（ステップS34）。以下、ステップS34にて求められた分光反射率を「理論分光反射率」という。

【0063】

続いて、参照基板の理論分光反射率に基づいて参照基板および対象基板9の分光強度から対象基板9の分光反射率が求められる（ステップS35）。ここで、参照基板の理論分光反射率を $R_c(\lambda)$ 、参照基板の分光強度を $I_c(\lambda)$ 、対象基板9の分光強度を $I_m(\lambda)$ とし、対象基板9の分光反射率を $R_m(\lambda)$ とすると、対象基板9の分光反射率 $R_m(\lambda)$ は、 $(R_m(\lambda)) = (I_m(\lambda)) / (I_c(\lambda) \times R_c(\lambda))$ により求められる。すなわち、対象基板9の分光反射率は光干渉ユニット4により求められた対象基板9の分光強度に対して参照基板の理論分光反射率と参照基板の分光強度との比を乗じることにより求められる。演算部51では、さらに、対象基板9の分光反射率から対象基板9上の膜厚が算出される（ステップS36）。

【0064】

以上のように、膜厚測定装置1では、偏光解析方式により測定された参照基板上の膜の厚さに基づいて参照基板の分光反射率を算出し、算出された分光反射率を参照して対象基板9の分光反射率が求められる。その結果、膜厚測定装置1では参照基板上の自然酸化膜の影響を受けることなく対象基板9の分光反射率を適切に求めることができ、精度よく膜厚を算出することができる。

【0065】

なお、参照基板は、必ずしもシリコン基板である必要はなく、例えば、金属板等であってもよい。また、図5に示す膜厚測定の処理の流れは可能な範囲内で適宜変更されてもよく、例えば、参照基板の理論分光反射率が算出された後に分光強度が取得されてもよい。

【0066】

以上、本発明の実施の形態について説明してきたが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、様々な変形が可能である。

【0067】

上記実施の形態では、エリプソメータ3を利用した膜厚測定の際に異物検査が行われているが、異物検査に係る構成は、例えば、半導体製造プロセス等において異物検査のみの目的で利用されてもよい。

【0068】

異物検査の際に、基板9上に大きな異物や多数の異物が存在する場合には、光干渉ユニット4の分光器42により基板9からの反射光が受光されることから、分光器42による異物の検査を併用することも可能である。

【0069】

遮光パターン453aは必ずしも開口絞り部453の位置に配置される必要はない、光源41から基板9に至る光路上において、開口絞り位置と光学的にほぼ共役な位置に配置されればよい。また、遮光パターン453aは特定の波長の光のみを遮光するパターンであってもよく、その場合、遮光パターン撮像部43には特定の波長の光のみを透過するフィルタが配置されてもよい。

【0070】

光源ユニット31から基板9に向かって出射される偏光光は、円偏光の光に限定されず、必要に応じて適宜異なった態様の偏光光（例えば、45°の直線偏光）が利用されてもよい。

【0071】

基板9は、半導体基板に限定されず、例えば、液晶表示装置やその他のフラットパネル表示装置等に使用されるガラス基板であってもよい。

【0072】

【発明の効果】

請求項1および2の発明では、対象物の傾斜角を求めつつ、対象物上の膜の厚さを精度よく求めることができ、請求項2の発明では、対象物上の微小領域における傾斜角求めることができる。

【0073】

請求項3および8の発明では、測定対象物の分光反射率を適切に求めることができる。

【0074】

請求項4ないし6の発明では、光源からの光の波長を求めつつ、対象物上の膜の厚さを精度よく求めることができ、請求項6の発明では分光器により分光強度を取得することができる。

【0075】

請求項7および9の発明では、基板上の異物の有無を迅速かつ容易に検査することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

膜厚測定装置の概略構成を示す図である。

【図2】

レーザ波長キャリブレーションの処理の流れを示す図である。

【図3】

異物検査の処理の流れを示す図である。

【図4】

膜厚測定結果と傾斜角との関係を示す図である。

【図5】

光干渉ユニットの出力に基づいて膜厚測定を行う処理の流れを示す図である。

【符号の説明】

- 1 膜厚測定装置
- 2 ステージ
- 3 エリプソメータ
- 4 光干渉ユニット
- 9 基板
- 2 1 ステージ移動機構
- 2 4 ミラー
- 3 1 光源ユニット

3 2 受光ユニット

4 1 光源

4 2 分光器

4 3 遮光パターン撮像部

4 5 光学系

5 1 演算部

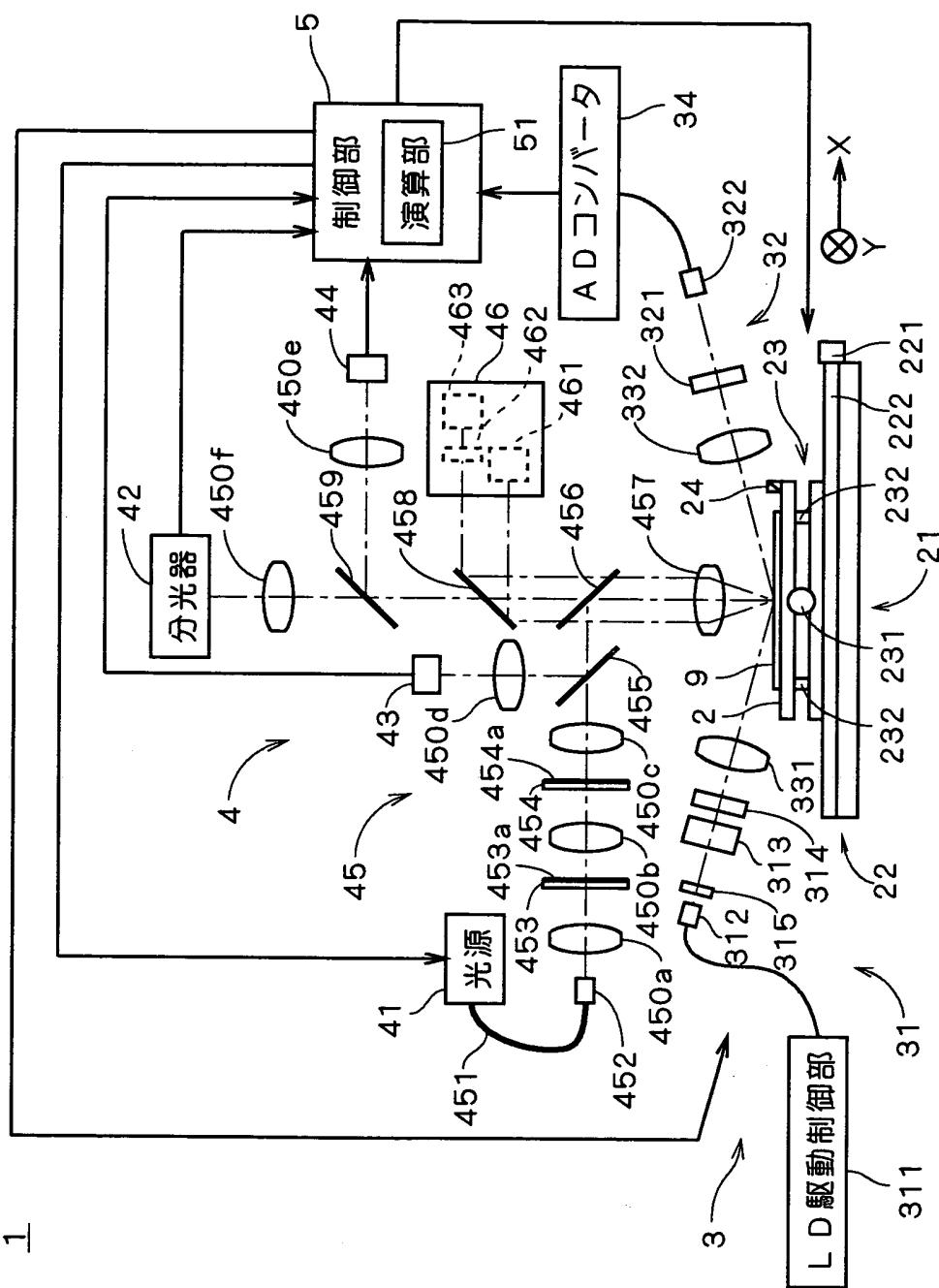
4 5 3 a 遮光パターン

4 5 4 a 遮光フィルタ

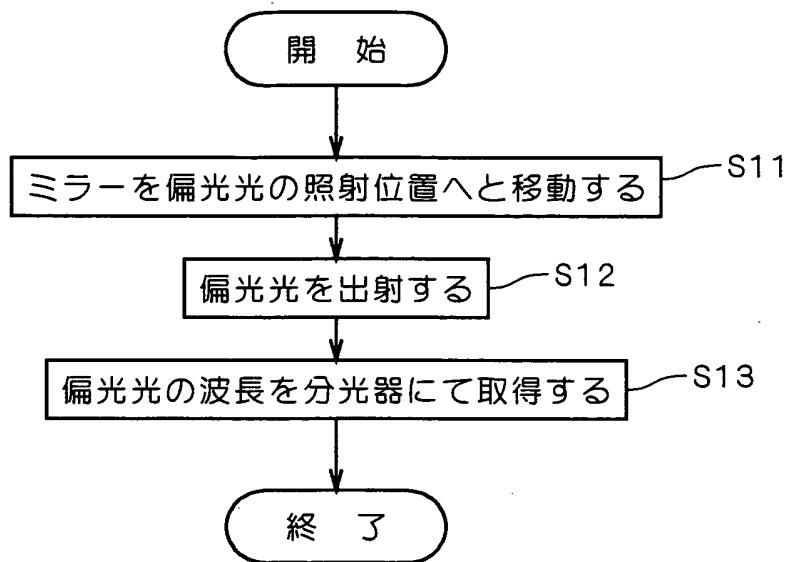
S 2 1～S 2 3, S 3 1～S 3 6 ステップ

【書類名】 図面

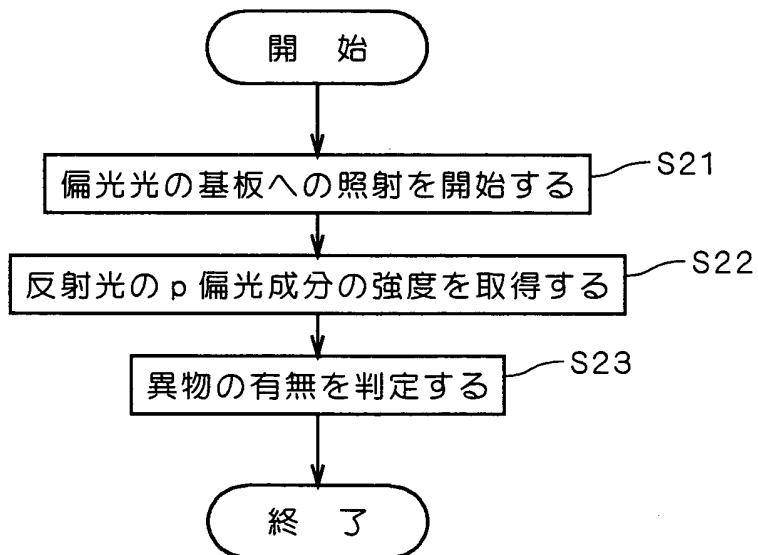
【図1】



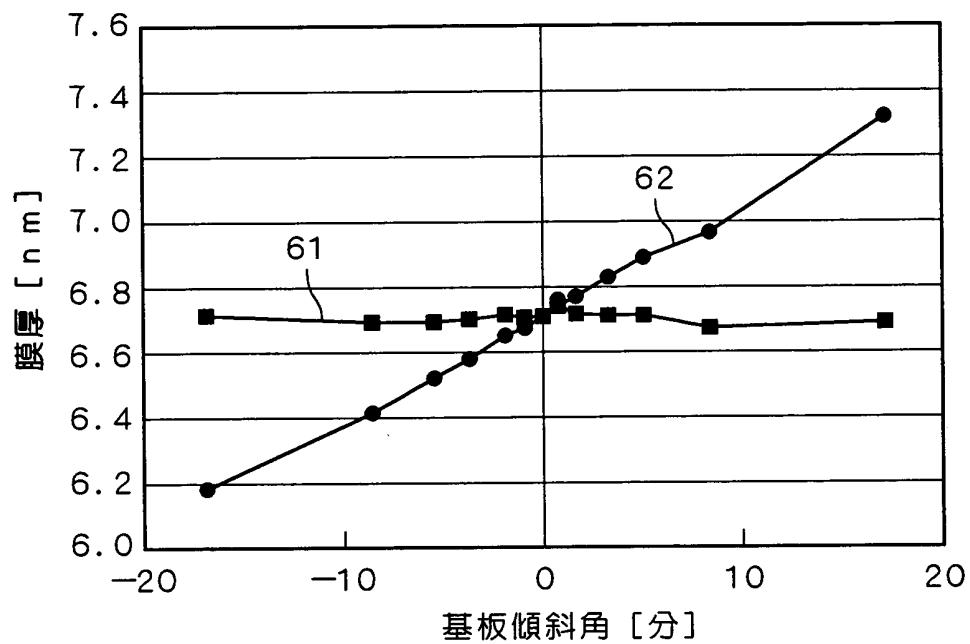
【図2】



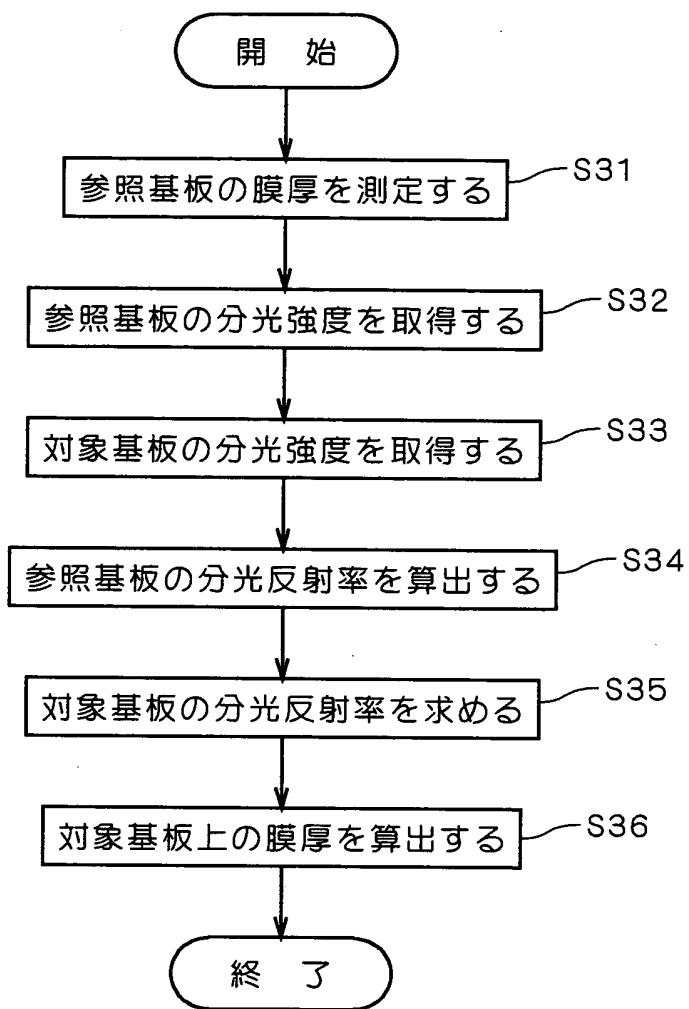
【図3】



【図4】



【図5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 対象物上の膜の厚さを精度よく測定する膜厚測定装置を提供する。

【解決手段】 膜厚測定装置1は、基板9上の膜の偏光状態を取得するエリプソメータ3、および、基板9上の膜の分光強度を取得する光干渉ユニット4を有する。光干渉ユニット4の光学系45において、開口絞り部453には遮光パターン453aが配置され、光源41からの照明光は光学系45により基板9へと照射される。基板9からの反射光は遮光パターン撮像部43へと導かれ、遮光パターン453aの像が取得される。エリプソメータ3により膜厚測定が行われる際には、遮光パターン453aの像に基づいて基板9の傾斜角が求められ、受光ユニット32により反射光の偏光状態が取得される。演算部51では、求められた傾斜角を用いつつ反射光の偏光状態から膜の厚さが精度よく求められる。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000207551]

1. 変更年月日 1990年 8月15日

[変更理由] 新規登録

住 所 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の
1

氏 名 大日本スクリーン製造株式会社